INSTITUT OBERFLÄCHENTECHNIK

**Statusbericht zum AiF-Projekt „Thermisch gespritzte Diffusionssperrschichten für CFC-Bauteile in Hochtemperaturanwendungen“**

**AiF-Nr.: 14.880 N / DVS-Nr.: 2.050**
**Laufzeit: 01.07.2006 – 30.06.2008**
**Berichtsdatum: 30.03.2007**

## 1 Herstellung und Untersuchung der Einzelschichtsysteme

Nach dem beim ersten Arbeitstreffen des pbA festgelegten Arbeitsplan wurden die Einzelschichtsysteme aus Mullit und $Al_2O_3$ auf den Grundwerkstoff CF 222 mittels APS aufgebracht. Zusätzlich wurden zwei weitere Keramikwerkstoffe Spinell und $Al_2O_3$-40$TiO_2$ ebenfalls mit APS-Verfahren verarbeitet. Alle vier Spritzwerkstoffe wurden außerdem auf einen weiteren Grundwerkstoff CF 226 verspritzt, um den Einfluss des Substrats zu ermitteln. Die Beschichtungen wurden im Hinblick auf die Mikrostruktur und die Haftung untersucht. Die Spritzversuche zeigten, dass sich Mullit direkt auf CFC nur sehr eingeschränkt aufbringen lässt. Wie in Abb. 1 dargestellt, zeigen fast alle Schichten ein Haftungsproblem. An den dunklen Stellen in Abb. 1 ist die Schicht vom Substrat abgelöst. Dieses Haftungsproblem ist bei CF 222 sowie bei CF 226 zu beobachten. Die Haftung der Schicht verbessert sich jedoch mit der Erhöhung der Vorwärmtemperatur. Die metallographische Untersuchung zeigte dass sich die Schicht an vielen Stellen vom Substrat trennt, wie in Abb. 2 dargestellt. Sehr ähnlich wie Mullitschichten zeigten die meisten Spinellschichten ebenfalls die abgelösten Stellen auf der Schichtoberfläche. Es ist sehr interessant zu beobachten, dass die abgelösten Stellen auf der Schichtoberfläche bei den dünneren $Al_2O_3$-Schichten (40-60 µm) nicht zu sehen sind, obwohl $Al_2O_3$ einen höheren Ausdehnungskoeffizient gegenüber Mullit aufweist. Die dickeren $Al_2O_3$-Schichten (120-150 µm) zeigten wieder die abgelösten Stellen auf der Schichtoberfläche, was auf die gesteigerte Eigenspannung infolge der erhöhten Schichtdicke zurückzuführen ist. Die metallographische Untersuchung zeigte, dass die Trennstellen zwischen Substrat und Schicht in dünneren $Al_2O_3$-Schichten bereits existieren, aber deutlich weniger als in Mullit- und Spinellschichten. In den dickeren $Al_2O_3$-Schichten sind aber mehr spannungsinduzierte senkrechte Risse vorhanden. Gegenüber den oben erwähnten Schichten zeigten die $Al_2O_3$-40$TiO_2$-Schichten die bessere Schichthaftung. Bei allen hergestellten $Al_2O_3$-40$TiO_2$-Schichten sind auf der Oberfläche keine abgelösten Stellen zu erkennen. Die metallographische Untersuchung zeigte eine sehr gute Verbindung zwischen dem Substrat und der Schicht (Abb. 3).

## 2 Herstellung und Untersuchung der Doppelschichtsysteme

Zur Verbesserung der Schichthaftung wurde eine W-Zwischenschicht aufgrund der niedrigen Ausdehnungskoeffizienten von W und W-Karbiden eingesetzt. Da W einen sehr hohen Schmelzpunkt hat, wurden die Spritzparameter für APS-Verfahren optimiert. Eine dünne W-Schicht (ca. 20 µm) konnte als Haftschicht mit APS-Verfahren auf CF 222 sowie CF 226 hergestellt werden. Die Spritzversuche mit HVOF-Verfahren zeigten, dass keine Schicht gebildet wurde, da die W-Spritzpartikel nicht angeschmolzen waren und beim Aufprallen auf das Substrat noch hart blieben. Infolge dessen wurde das Substrat von den W-Partikeln erodiert. Die metallographische

Untersuchung zeigte, dass die mit APS hergestellten W-Zwischenschichten eine sehr gute Verbindung zum CFC-Substrat aufweisen. Auf den mit W-Zwischenschicht versehenen Proben wurden die oben erwähnten vier Keramikwerkstoffe mit APS-Verfahren aufgebracht. Die Haftung der Keramikschichten wurde durch den Einsatz der W-Zwischenschicht im Wesentlichen verbessert. Die oben erwähnten abgelösten Stellen sind bei keiner der Schichten mehr zu erkennen. Die metallographische Untersuchung zeigte, dass alle Keramikschichten eine sehr gute Anbindung zu der W-Zwischenschicht aufweisen, wie in Abb. 4 dargestellt.

## 3 Untersuchung der Schichthaftung

Mit Hilfe des Ritztests wurde die Haftung der Schichten untersucht. Jedoch lässt sich eine objektive Auswertung nicht mit diesem Testverfahren realisieren, da sich wegen der Gewebeoberflächenstruktur der CFC-Proben die Normalkraft bei der Messung sehr stark ändert, was eine zuverlässige Aussage nicht erlaubt. Neben dem Ritztest wurde die Haftung der Schicht durch Härteeindruck an der Grenzzone zwischen dem Substrat und der Schicht geprüft. Die Ergebnisse zeigten, dass ein Indiz für die Haftung der Schicht aus dem Härteindrucktest gegeben werden kann. In Abb. 5 ist eine Aufnahme eines Abdrucks bei der Mikrohärteprüfung mit 100 g Druckkraft dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die W-Zwischenschicht um die Eindruckstelle herum nicht vom Substrat getrennt ist. Das Kohlefaserbündel ist dagegen durch das Eindringen der Diamantspitze beschädigt. Das deutet darauf hin, dass die W-Zwischenschicht eine gute Haftung auf dem CFC-Substrat aufweist.

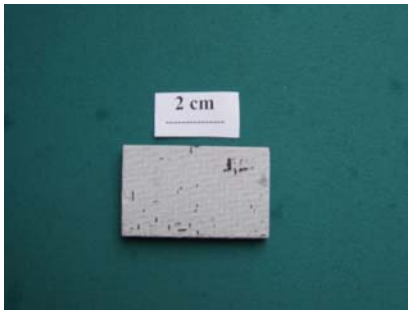


Abb. 1: Mullitschicht mit abgelösten Stellen

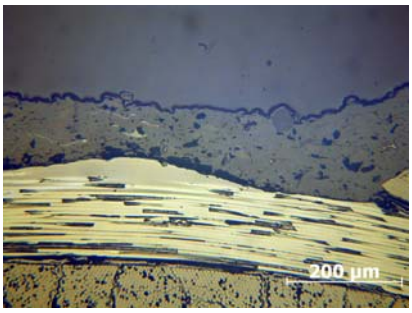


Abb. 2: Schliffbild einer Mullitschicht

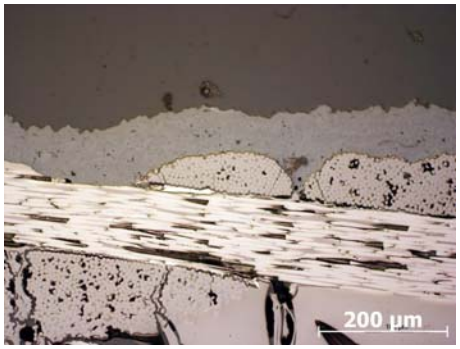


Abb. 3: Schliffbild einer $Al_2O_3$-40$TiO_2$-Schicht

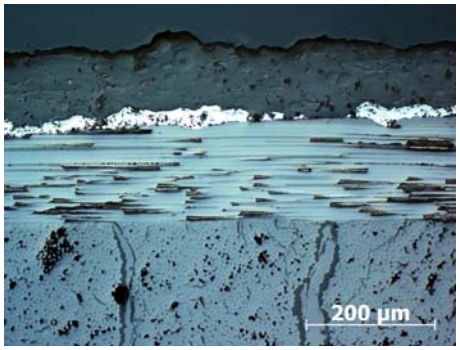


Abb. 4: Schliffbild einer Mullit-W-Schicht

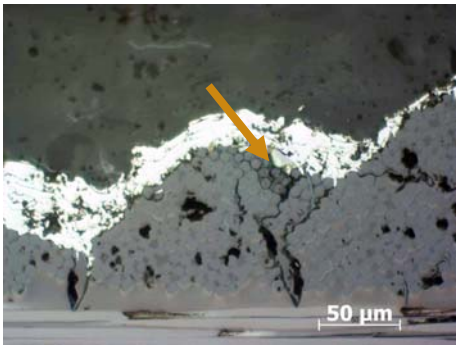


Abb. 5: Aufnahme eines Härteeindrucks